



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 49 375 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:  
**B 23 Q 41/06**

②① Aktenzeichen: 198 49 375.4  
②② Anmeldetag: 19. 10. 1998  
④③ Offenlegungstag: 27. 4. 2000

DE 198 49 375 A 1

⑦① Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Bussmann, Stefan, 12161 Berlin, DE; Baumgärtel,  
Hartwig, 12621 Berlin, DE; Schild, Klaus, Dr., 10999  
Berlin, DE

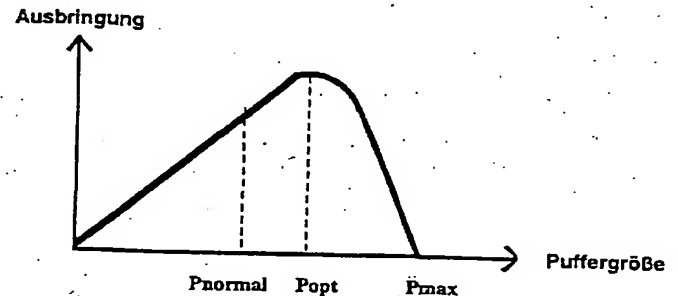
⑤⑤ Entgegenhaltungen:  
DE-OS 18 14 452  
DD 2 76 836 A1  
WIRTH, S., KLEEBERG, H.: Rechnergesteuerte  
Mate-  
rialflußlösungen in flexiblen Fertigungssystemen  
der DDR, in Fertigungstechnik und Betrieb, Berlin  
38 (1988) 5, S. 295-300;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum Einstellen des Werkstückflusses

⑤⑦ Beim vorliegenden Verfahren zum Einstellen des Werkstückflusses in einem Produktionssystem (2) mit Werkstücken und den Werkstücken zugeordneten Werkstückagenten sowie Maschinen  $M_i$  (4 bis 12) zum Bearbeiten der Werkstücke und den Maschinen  $M_i$  (4 bis 12) zugeordneten Maschinenagenten, wobei die Maschinen  $M_i$  (4 bis 12) Bearbeitungsvarianten  $V_i$  zur Verfügung stellen, meldet sich der Werkstückagent eines Werkstücks bei einem Maschinenagenten für eine Bearbeitungsvariante  $V$  nur dann an, wenn für den Füllstand der Maschine  $M$   $P < P_{opt}$  ist, wobei  $P$  die Anzahl von Werkstücken im virtuellen Puffer der Maschine  $M$  und  $P_{opt}$  die Anzahl von Werkstücken im virtuellen Puffer der Maschine  $M$  für eine optimale Ausbringung ist. Durch diese Maßnahme wird eine Stauung im Produktionssystem (2) vermieden und ihre Produktivität gesteigert.



DE 198 49 375 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Einstellen des Werkstückflusses in einem Produktionssystem mit Maschinen, welche Bearbeitungsvarianten zum Bearbeiten der Werkstücke zur Verfügung stellen.

Produktionssysteme zur Werkstückfertigung in der Massenproduktion weisen in der Regel eine Anzahl von Maschinen für die jeweiligen Bearbeitungsschritte auf, wobei die Maschinen beispielsweise durch Rollenbändern zum Transportieren der Werkstücke miteinander verbunden sind. Als problematisch erweist sich in der Massenfertigung das Auftreten von Störungen oder Unregelmäßigkeiten im Produktionsablauf.

Der Ausfall einer einzelnen Maschine beispielsweise kann zum Ausfall des gesamten Produktionssystems führen, was gleichbedeutend mit einem Stillstand der gesamten Produktion ist.

Sind beispielsweise die Maschinen hintereinander angeordnet und fällt eine bestimmte Maschine aus, so kommt es zu einer Staubildung der Werkstücke vor der ausgefallenen Maschine. Im zeitlichen Verlauf der Störung breitet sich dieser Stau aus und umfaßt auch diejenigen Maschinen, welche vor der ausgefallenen Maschine angeordnet sind.

Mit fortschreitender Zeit wird ein chaotischer Zustand erreicht, wobei das gesamte Produktionssystem blockiert ist. Selbst nach erfolgter Reparatur der ausgefallenen Maschine bedarf es einer größeren Anlaufzeit um den Normalbetrieb wieder zu erreichen.

Das Produktionssystem ist somit für einen größeren Zeitraum stillgelegt, was gleichbedeutend mit einem Produktionsausfall ist. Der Produktionsausfall ist wiederum mit einem erheblichen Kostenaufwand verbunden.

Selbst ohne Ausfall einer Maschine kann es bereits zu Staubildungen und letztendlich zu einem Produktionsausfall kommen. Aufgrund verschiedener Bearbeitungszeiten für die einzelnen Bearbeitungsvarianten kommt es zu Staubildungen vor einer Maschine, wenn sie eine längere Bearbeitungszeit aufweist als die in Produktionsrichtung zuvor angeordnete Maschine.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Einstellen des Werkstückflusses in einem Produktionssystem zur Werkstückfertigung mit einer gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren gesteigerten Produktivität anzugeben, bei dem eine Staubildung der Werkstücke vor einer ausgefallenen Maschine weitgehend vermieden wird.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Einstellen des Werkstückflusses in einem Produktionssystem mit Werkstücken und den Werkstücken zugeordneten Werkstückagenten sowie Maschinen  $M_i$  zum Bearbeiten der Werkstücke mit Bearbeitungsvarianten  $V_i$  und den Maschinen zugeordneten Maschinenagenten, wobei gemäß der Erfindung der Werkstückagent eines Werkstücks sich bei einem Maschinenagenten für eine Bearbeitungsvariante  $V$  anmeldet, wenn für den Füllstand der Maschine  $M$   $P < P_{opt}$  ist, wobei  $P$  die Anzahl von Werkstücken im virtuellen Puffer der Maschine  $M$  und  $P_{opt}$  die Anzahl von Werkstücken im virtuellen Puffer der Maschine  $M$  für eine optimale Ausbringung ist.

Als virtueller Puffer einer Maschine  $M$  wird derjenige Bereich definiert, welcher alle diejenigen Werkstücke umfaßt, welche sich bei der Maschine  $M$  angemeldet und noch nicht wieder abgemeldet haben. Ist die Anzahl  $P$  von Werkstücken im virtuellen Puffer größer als  $P_{opt}$ , der maximalen Pufferkapazität, so befinden sich für einen optimalen Betrieb des Produktionssystems zu viele Werkstücke im virtuellen Puffer. Eine Staubildung ist dann unvermeidbar. Eine An-

meldung von Werkstückagenten bei der Maschine  $M$  für die Bearbeitungsvariante  $V$  ist in dieser Situation nicht angebracht, da die Maschine  $M$  bereits überlastet ist. Nur mit  $P < P_{opt}$  ist eine optimale Produktivität gewährleistet und die Maschine  $M$  ist für weitere Anmeldungen von Werkstückagenten bereit. Unter Maschine  $M$  wird im weiteren Text auch gegebenenfalls der dazugehörige Maschinenagent verstanden.

Vorzugsweise ist  $P > P_{normal}$  und  $P_{ab}(V) > F_{normal}$ , wobei  $P_{normal}$  die Anzahl von Werkstücken im virtuellen Puffer der Maschine  $M$  ist, die eine kontinuierliche Versorgung der Maschine  $M$  mit Werkstücken gewährleistet,  $P_{ab}(V)$  die Anzahl der Werkstücke ist, die von der Maschine  $M$  mit der Arbeitsvariante  $V$  bereits abgearbeitet wurden und sich noch nicht von der Maschine  $M$  für eine weitere Bearbeitung abgemeldet haben, und  $F_{normal}$  der Wert für  $P_{ab}(V)$  ohne Staubildung ist.

Ein Rückstau des Materialflusses ist immer dann gegeben, wenn es Werkstücke gibt, die bereits bearbeitet wurden, sich aber noch nicht abgemeldet haben, und somit noch keine neue Maschine  $M_i$  für eine passende Weiterbearbeitung gefunden haben.

Dies ist immer dann der Fall, wenn  $P_{ab}(V)$  mindestens ein Werkstück enthält. Bei einem einzigen Werkstück kann es sich allerdings lediglich um eine Verzögerung der Ausschreibung handeln, bei zwei Werkstücken hingegen wird es sich in der Regel tatsächlich um einen Rückstau handeln. Im Allgemeinen wird es immer eine bestimmte Anzahl von Werkstücken geben, die sich im Fertigpuffer  $P_{ab}(V)$  befinden können, ohne daß es sich um einen Rückstau im Materialfluß handeln muß. Dieser Wert wird mit  $F_{normal}$  bezeichnet. Ein Rückstau im Materialfluß ist also mit Sicherheit erst dann gegeben, wenn  $P_{ab}(V) > F_{normal}$ . Diese Bedingung ist aber noch nicht hinreichend für die Sperrung einer Bearbeitungsvariante  $V_i$ . Selbst bei einem Rückstau sollte nämlich die Anzahl aller Werkstücke im physikalischen Puffer niemals unter  $P_{normal}$  sinken. In diesem Fall wäre die kontinuierliche Versorgung der Maschine mit Werkstücken nach dem Auflösen des Rückstaus nicht mehr sicher gestellt. Die Zusatzbedingung  $P \geq P_{normal}$  gewährleistet genau dies.  $V$  ist also immer dann gesperrt, wenn entweder  $P \geq P_{opt}$  oder gleichzeitig  $P \geq P_{normal}$  und  $P_{ab}(V) > F_{normal}$  gilt.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind die Maschinen  $M_i$  in Reihe angeordnet, wobei sich Werkstücke aus einem zyklischen Werkstückfluß bei der Maschine  $M$  ohne Füllstandsüberwachung anmelden. Ein zyklischer Werkstückfluß ist ein nicht bevorzugter Werkstückfluß, wobei es aber auch noch andere nicht bevorzugte Materialflüsse geben kann. Ein Werkstück kann nicht von der gewünschten Maschine  $M_i$  bearbeitet werden und wird deshalb zur weiteren Bearbeitung der Maschine  $M$  zyklisch durchgeführt, sozusagen "entgegengesetzt" zum bevorzugten Werkstückfluß. Hierdurch wird eine Staubildung auf der gesamten Länge der in Reihe angeordneten Maschinen  $M_i$  vermieden. Benachbarte Maschinen  $M_i$  können sich nicht mehr gegenseitig blockieren. Auch zyklische Werkstückflüsse werden somit korrekt behandelt.

Vorzugsweise wird wenigstens eine Bearbeitungsvariante  $V_i$  von wenigstens zwei Maschinen  $M_i$  ausgeübt, wobei die Auswahl der Maschine zwischen den Werkstückagenten und den Maschinenagenten verhandelt wird. Die Maschine  $M$  für eine geeignete Weiterbearbeitung wird dynamisch mittels eines speziellen Ausschreibungsverfahrens (Contract Net) zwischen den Werkstücken (Werkstückagenten) und den Maschinen  $M_i$  (Maschinenagenten) ermittelt. Das entwickelte Ausschreibungsverfahren gewährleistet nicht nur eine Lastverteilung zwischen den Maschinen, sondern zugleich eine Anpassung des Füllgrades des Produktionssy-

stems an den aktuellen Engpaß. Die Engpaßkapazität wird automatisch entgegengesetzt zur Produktionsrichtung bis zum Belader propagiert.

Insbesondere können Transportmittel zum Transportieren der Werkstücke zwischen den Maschinen  $M_i$  Transportagenten zugeordnet sein, wobei der individuelle Weg zwischen den Maschinen  $M_i$  zwischen den Werkstückagenten und den Transportagenten verhandelt wird. Der Transportweg der Werkstücke zu einem ausgehandelten Ziel wird dynamisch ausgehandelt, und zwar bilateral zwischen dem jeweiligen Werkstück und beispielsweise einem Verschiebetisch. Der betreffende Verschiebetisch berücksichtigt dabei Werkstücke, die sich an den Ausgängen des Verschiebetisches befinden und leitet das Werkstück gegebenenfalls über einen Umweg zu seinem Ziel, ohne aber dessen Transportziel zu verändern. Ein spezielles Transportziel ist das "Kreisen" über einer Maschine, also das zeitweise Bewegen des Werkstückes zwischen zwei benachbarten Verschiebetischen. Ein Werkstück hat immer dann ein solches Transportziel, wenn es von einer Maschine bearbeitet wurde, aber danach noch keine neue Maschine für eine geeignete Weiterbearbeitung finden konnte. Dadurch wird der jeweilige Bereich des Vorwärts- und Rückwärtsbandes als Rotationspuffer ausgenutzt. Mit dieser dynamischen Transportwegbestimmung werden Werkstücktausch vermieden, wobei das Transportsystem selbst als flexibler Puffer fungiert. Somit erfolgt auch die Transportwegbestimmung dynamisch.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen wiedergegeben.

Die Erfindung ist anhand der folgenden Ausführungsbeispiele in den Zeichnungsfiguren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 die Ausbringung von Werkstücken in Abhängigkeit von der Puffergröße;

Fig. 2 einen Ausschnitt aus einem Produktionssystem in schematischer Darstellung.

Die Flexibilisierung des Werkstückflusses erfordert eine Koordination der Komponenten eines Produktionssystems.

Komponenten sind beispielsweise Belader, Maschinen, Verschiebetische und Entlader. Für die jeweiligen Komponenten werden dazugehörige Agenten eingeführt. Des weiteren müssen die Entscheidungen dieser Komponenten mit den Zielen der Werkstücke koordiniert werden. Dazu werden Werkstückagenten eingeführt, die mehrere Werkstücke gleichzeitig verwalten.

Die Werkstückagenten laufen jeweils auf eigener Hardware.

Für eine Massenproduktion ist es sinnvoll, daß der gesamte Materialfluß gerichtet (auch bevorzugt genannt) und nicht etwa vollkommen chaotisch verläuft. Unter einem gerichteten Materialfluß wird dabei verstanden, daß eine Maschine nicht jede beliebige Maschine beliefern darf, sondern nur ihre Nachfolgemaschine. Der Terminus beliefern bezieht sich hierbei auf den möglichen Materialfluß. Was die Nachfolgemaschinen einer bestimmten Maschine sind, wird mittels einer speziellen Ordnung zwischen den Maschinen definiert. Diese Ordnung muß nicht unbedingt der geometrischen Anordnung entsprechen. Sie muß aber bestimmte Eigenschaften erfüllen.

Ein Materialfluß heißt gerichtet, wenn es eine strikte lineare Ordnung  $<$  zwischen den Maschinen gibt, so daß jede Maschine  $M$  nur Maschinen  $M'$  mit  $M < M'$  beliefert.

Es ist zu beachten, daß die strikte lineare Ordnung nicht unbedingt der geometrischen Anordnung entsprechen muß. Es wird nur verlangt, daß immer dann, wenn eine Maschine  $M$  die Maschinen  $M'$  beliefert, umgekehrt es für die Maschine  $M'$  nicht erlaubt ist,  $M$  zu beliefern. Es wird verlangt, daß für jeweils zwei Maschinen  $M$  und  $M'$  mit  $M \neq M'$  immer klar sein muß, welche Maschine welche anderen Ma-

schinen beliefern darf, wobei keine Maschine sich selbst beliefern darf. Wenn alle diese Bedingungen gelten, handelt es sich um einen gerichteten Materialfluß (bevorzugter Materialfluß). Demgegenüber steht ein zyklischer nicht bevorzugter Materialfluß, der bei Störung des bevorzugten Materialflusses auftritt. Das Werkstück wird hier bei Ausfall einer bestimmten Maschine einer weiteren Maschine zugeführt, welche beispielsweise die Bearbeitungsvariante der ausgefallenen Maschine ausführen kann. Die weitere Maschine wurde beim bevorzugten Materialfluß vom Werkstück bereits in einer früheren Phase passiert.

Die Werkstücksteuerung muß folgende generelle Aufgaben erfüllen:

1. Auswahl einer geeigneten Maschine für eine Weiterbearbeitung
2. Lastverteilung zwischen den Maschinen
3. Steuerung des Füllgrades
4. Auswahl eines geeigneten Transportweges

Die Auswahl einer geeigneten Maschine geschieht über eine Verhandlung zwischen einem Werkstückagenten und mehreren Maschinenagenten. Der Werkstückagent macht dabei eine Ausschreibung für ein bestimmtes Werkstück, die Maschinenagenten können entsprechende Angebote machen, woraufhin der Werkstückagent einen Zuschlag erteilt. Ein Maschinenangebot enthält dabei immer Informationen über die aktuelle Auslastung der betreffenden Maschine. Diese Auslastung wird bei der Maschinenwahl berücksichtigt. Dadurch ergibt sich automatisch eine Lastverteilung zwischen den Maschinen. Der Füllgrad wird gesteuert, indem eine überlastete Maschine temporär gesperrt wird.

Ein einzelnes Werkstück durchläuft das Materialfluß-System in folgenden Schritten: 1. Beladen und Initialisieren des Werkstückes; 2. Maschinenauswahl; 3. Transport des Werkstückes; 4. Bearbeitung des Werkstückes; und schließlich 5. Entladen des Werkstückes. Die Schritte 2 bis 4 werden solange wiederholt, bis das Werkstück vollständig bearbeitet ist. Dabei können die Schritte 2 und 3 parallel ausgeführt werden.

Die folgenden Abschnitte beschreiben die einzelnen Schritte aus Sicht eines einzelnen Werkstückes und gehen dabei auf die obengenannten Aufgaben ein.

Die Auswahl einer Maschine erfolgt in drei Schritten: 1. Ausschreiben einer geeigneten Weiterbearbeitung, 2. Erstellen eines Angebots durch die angeschriebenen Maschinen, und 3. Wahl einer konkreten Maschine.

Ein Werkstückagent schreibt für ein bestimmtes Werkstück mögliche Weiterbearbeitungen aus. Ziel einer solchen Ausschreibung ist es, eine Maschine zu finden, die prinzipiell in der Lage ist, das Werkstück weiter zu bearbeiten. Jede Maschine verwaltet genau einen Puffer. Dieser Puffer dient dazu, den Füllgrad des physikalischen Puffers der Maschine zu steuern. Der physikalische Puffer einer Maschine besteht aus mehreren Transportbändern. Sei  $V_1$  der Verschiebetisch, dessen Maschinenausgang die Maschine direkt beliefert und sei  $V_2$  der Verschiebetisch, dessen Maschineneingang direkt von der Maschine beliefert wird. Der physikalische Puffer der Maschine besteht dann aus allen Transportbändern, die  $V_1$  und  $V_2$  direkt miteinander verbinden. Sind der Maschinenausgang von  $V_1$  und der Maschineneingang von  $V_2$  nicht direkt über ein einziges Transportband verbunden, sondern über zwei getrennte Bänder, die nur indirekt über die Maschine verbunden sind, dann zählen diese beiden Transportbänder auch zum physikalischen Puffer der Maschine. Demgegenüber steht der virtuelle Puffer einer Maschine  $M$ , der alle Werkstücke umfaßt, die sich bei der Maschine  $M$  angemeldet und noch nicht wieder abgemeldet

haben.

Die ununterbrochene Versorgung der Maschine mit Werkstücken kann nur dann sicher gestellt werden, wenn ihr Puffer einen bestimmten Füllgrad aufweist. Ist dieser Füllgrad zu groß, kann es hingegen zu Staus auf den betroffenen Transportbändern kommen. Solche Staus können eine ununterbrochene Versorgung der Maschine unmöglich machen. Das Verhältnis zwischen Ausbringung einer Maschine und der Puffergröße veranschaulicht Fig. 1.

- $P_{\max}$  ist die größtmögliche Anzahl von Werkstücken, die der Puffer der Maschine (d. h. die entsprechenden Transportbänder) theoretisch aufnehmen kann. Aufgrund von Staus wird die Ausbringung bei einem solchen Füllgrad allerdings sehr gering sein.
- $P_{\text{opt}}$  ist die Anzahl von Werkstücken im virtuellen Puffer, die eine optimale Ausbringung gewährleisten. Sowohl bei einem niedrigeren als auch bei einem höheren Füllgrad wird die Ausbringung sinken.
- $P_{\text{normal}}$  ist die Anzahl von Werkstücken, die im virtuellen Puffer der Maschine immer vorhanden sein sollte, um eine kontinuierliche Versorgung der Maschine mit Werkstücken zu gewährleisten.

Es gilt:

$$0 < P_{\text{normal}} < P_{\text{opt}}$$

Die Aufgabe der Puffersteuerung ist es, den Füllgrad des virtuellen Puffers so zu steuern, daß er sich immer möglichst nahe des optimalen Wertes  $P_{\text{opt}}$  einpegelt.

Für jede Bearbeitungsvariante  $V$  werden dafür folgende Zähler verwaltet. Der Anmeldepuffer  $P_{\text{an}}(V)$  ist die Anzahl aller Werkstücke der Bearbeitungsvariante  $V$ , die sich bei der Maschine für eine Bearbeitung angemeldet haben. Hierzu zählen allerdings nur diejenigen Werkstücke, die noch nicht von der Maschine bearbeitet wurden. Der gesamte Anmeldepuffer  $P_{\text{an}}$  berechnet sich dann einfach aus der Summe aller Anmeldepuffer der einzelnen Bearbeitungsvarianten:

$$P_{\text{an}} = \text{def } \sum P_{\text{an}}(V)$$

Der Fertigpuffer  $P_{\text{ab}}(V)$  ist Anzahl aller Werkstücke der Bearbeitungsvariante  $V$ , die sich bei der Maschine für eine Bearbeitung irgendwann angemeldet haben, von der Maschine bereits bearbeitet wurden, aber noch nicht in der Lage waren, sich bei einer anderen Maschine für eine Weiterbearbeitung anzumelden. Der gesamte Fertigpuffer  $P_{\text{ab}}$  berechnet sich einfach aus der Summe aller Fertigpuffer der einzelnen Bearbeitungsvarianten:

$$P_{\text{ab}} = \text{def } \sum P_{\text{ab}}(V)$$

Der gesamte Puffer  $P$  der Maschine ist die Summe aus dem gesamten Anmeldepuffer und dem gesamten Fertigpuffer:

$$P = \text{def } P_{\text{an}} + P_{\text{ab}}$$

Wird ein Werkstück der Bearbeitungsvariante  $V$  von der Maschine bearbeitet, dann wird  $P_{\text{an}}(V)$  um 1 erniedrigt und  $P_{\text{ab}}(V)$  um 1 erhöht. Der Gesamtpuffer  $P$  bleibt dadurch konstant:

$$\begin{aligned} P_{\text{an}}(V) &= P_{\text{an}}(V) - 1, \\ P_{\text{ab}}(V) &= P_{\text{ab}}(V) + 1. \end{aligned}$$

Wurde ein Werkstück der Bearbeitungsvariante  $V$  bearbeitet und konnte es sich danach erfolgreich bei einer neuen Maschine für eine passende Weiterbearbeitung anmelden, dann wird  $P_{\text{ab}}(V)$  um 1 erniedrigt:

$$P_{\text{ab}}(V) = P_{\text{ab}}(V) - 1.$$

Der Gesamtpuffer erniedrigt sich dadurch ebenfalls um 1. Meldet sich ein Werkstück der Bearbeitungsvariante  $V$  bei der Maschine für eine Bearbeitung an, dann wird  $P_{\text{an}}(V)$  um 1 erhöht:

$$P_{\text{an}}(V) = P_{\text{an}}(V) + 1.$$

Dadurch wird der Gesamtpuffer um 1 erhöht.

Um zu verhindern, daß sich unbegrenzt viele Werkstücke bei einer Maschine anmelden, ist eine solche Anmeldung nur unter bestimmten Bedingungen zugelassen. Hierbei wird zwischen den verschiedenen Bearbeitungsvarianten unterschieden. Eine Bearbeitungsvariante kann für eine Anmeldung bei der Maschine gesperrt oder zugelassen sein. Eine Bearbeitungsvariante  $V$  ist gesperrt, wenn

$$\begin{aligned} P &\geq P_{\text{opt}} \text{ oder} \\ P &\geq P_{\text{opt}} \text{ und} \\ P &\geq P_{\text{normal}} \text{ und } P_{\text{ab}}(V) > F_{\text{normal}} \text{ gilt.} \end{aligned}$$

Die erste Bedingung  $P \geq P_{\text{opt}}$  dient dazu, den Füllgrad niemals über den optimalen Wert steigen zu lassen. Dadurch wird erreicht, daß sich bei einem Totalausfall einer Maschine nur eine begrenzte Zahl von Werkstücken anmeldet.

Die zweite Bedingung  $P \geq P_{\text{normal}}$  und  $P_{\text{ab}}(V) > F_{\text{normal}}$  verhindert, daß sich bei einem Rückstau einer bestimmten Bearbeitungsvariante, noch weitere Werkstücke dieser Bearbeitungsvariante anmelden. Ein Rückstau des Materialflusses ist immer dann gegeben, wenn es Werkstücke gibt, die bereits bearbeitet wurden, aber die noch keine neue Maschine für eine passende Weiterbearbeitung gefunden haben. Dies ist immer dann der Fall, wenn  $P_{\text{ab}}(V)$  mindestens ein Werkstück enthält. Bei einem einzigen Werkstück kann es sich allerdings lediglich um eine Verzögerung der Ausschreibung handeln, bei zwei Werkstücken hingegen wird es sich in der Regel tatsächlich um einen Rückstau handeln. Im Allgemeinen wird es immer eine bestimmte Anzahl von Werkstücken geben, die sich im Fertigpuffer  $P_{\text{ab}}(V)$  befinden können, ohne daß es sich um einen Rückstau im Materialfluß handeln muß. Dieser Wert wird mit  $F_{\text{normal}}$  bezeichnet. Ein Rückstau im Materialfluß ist also mit Sicherheit erst dann gegeben, wenn  $P_{\text{ab}}(V) > F_{\text{normal}}$ . Diese Bedingung ist aber noch nicht hinreichend für die Sperrung einer Bearbeitungsvariante. Selbst bei einem Rückstau sollte nämlich die Anzahl aller Werkstücke im physikalischen Puffer niemals unter  $P_{\text{normal}}$  sinken. In diesem Fall wäre die kontinuierliche Versorgung der Maschine mit Werkstücken nach dem Auflösen des Rückstaus nicht mehr sicher gestellt. Die Zusatzbedingung  $P \geq P_{\text{normal}}$  gewährleistet genau dies.  $V$  ist also immer dann gesperrt, wenn entweder  $P \geq P_{\text{opt}}$  oder  $P \geq P_{\text{normal}}$  und  $P_{\text{ab}}(V) > F_{\text{normal}}$  gilt.

Entsprechend ist eine Bearbeitungsvariante  $V$  für die Maschine  $M$  zugelassen, wenn

$$\begin{aligned} P &< P_{\text{opt}} \text{ oder} \\ P &< P_{\text{opt}} \text{ und } P &\geq P_{\text{normal}} \text{ und } P_{\text{ab}}(V) > F_{\text{normal}} \text{ gilt.} \end{aligned}$$

Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt aus einem Produktionssystem 2 in schematischer Darstellung. Das Produktionssystem 2 umfaßt die Maschinen  $M_i$  4 bis 12, welche im bevorzugten Werkstückfluß von den Werkstücken in Richtung 14

durchlaufen werden. Bei Ausfall oder Überbelastung der Maschine  $M_i$  12 werden die ursprünglich hier zu bearbeitenden Werkstücke der Maschine M 6 entlang des Weges 16 zur weiteren Bearbeitung zugeführt. Die Maschine M 6 übt die Bearbeitungsvariante  $V_i$  Maschine  $M_i$  12 an den umgeleiteten Werkstücken aus. Die über den Weg 16 ankommenden Werkstücke werden von der Maschine M 6 bearbeitet, ohne daß zuvor eine Füllstandsüberwachung der Maschine M 6 erfolgt. Dieser nicht bevorzugte Werkstückfluß wird, auch als zyklischer Werkstückfluß bezeichnet und ist frei von Selbstblockaden. Voraussetzung ist, daß wenigstens eine Bearbeitungsvariante  $V_i$  von wenigstens zwei Maschinen 4 bis 12 angeboten wird.

Hierdurch wird eine Staubildung auf der gesamten Länge der in Reihe angeordneten Maschinen  $M_i$  4 bis 12 vermieden. Benachbarte Maschinen  $M_i$  4 bis 12 können sich bewiesenermaßen nicht mehr gegenseitig blockieren. Auch bei einem zyklischen Werkstückfluß wird somit eine Staubildung verhindert.

Der Werkstückfluß zwischen den Maschinen  $M_i$  wird dynamisch geregelt. Die Maschine M für eine geeignete Weiterbearbeitung wird dynamisch mittels eines speziellen Ausschreibungsverfahrens (Contract Net) zwischen den Werkstücken (Werkstückagenten) und den Maschinen  $M_i$  (Maschinenagenten) ermittelt. Das entwickelte Ausschreibungsverfahren gewährleistet nicht nur eine Lastverteilung zwischen den Maschinen, sondern zugleich eine Anpassung des Füllgrades des Produktionssystems an den aktuellen Engpaß. Die Engpaßkapazität wird automatisch entgegengesetzt zur Produktionsrichtung bis zum Belader propagiert. Den Transportmitteln zum Transportieren der Werkstücke zwischen den Maschinen  $M_i$  sind Transportagenten zugeordnet, wobei der individuelle Weg zwischen den Maschinen  $M_i$  zwischen den Werkstückagenten und den Transportagenten verhandelt wird. Somit erfolgt auch die Transportwegbestimmung dynamisch.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird eine Staubildung im Produktionssystem verhindert, wodurch die Produktivität des gesamten Produktionssystems gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Produktionssystemen gesteigert wird.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Einstellen des Werkstückflusses in einem Produktionssystem (2) mit:

- Werkstücken und den Werkstücken zugeordneten Werkstückagenten,
- Maschinen  $M_i$  (4 bis 12) zum Bearbeiten der Werkstücke und den Maschinen  $M_i$  (4 bis 12) zugeordneten Maschinenagenten, wobei die Maschinen  $M_i$  (4 bis 12) Bearbeitungsvarianten  $V_i$  zur Verfügung stellen,

dadurch gekennzeichnet,

daß der Werkstückagent eines Werkstücks sich bei einem Maschinenagenten für eine Bearbeitungsvariante V anmeldet, wenn für den Füllstand der Maschine M (6)  $P < P_{opt}$  ist, wobei

- P die Anzahl von Werkstücken im virtuellen Puffer der Maschine M (6) und
- $P_{opt}$  die Anzahl von Werkstücken im virtuellen Puffer der Maschine M (6) für eine optimale Ausbringung ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß  $P > P_{normal}$  und  $P_{ab}(V) < F_{normal}$  ist, wobei

- $P_{normal}$  die Anzahl von Werkstücken im Puffer der Maschine M (6) ist, die eine kontinuierliche Versorgung der Maschine M (6) mit Werkstücken

gewährleistet,

- $P_{ab}(V)$  die Anzahl der Werkstücke ist, die von der Maschine M (6) mit der Arbeitsvariante V bereits abgearbeitet wurden, sich aber noch nicht von der Maschine M (6) abgemeldet haben, und
- $F_{normal}$  der Wert für  $P_{ab}(V)$  ohne Staubildung ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Maschinen  $M_i$  (4 bis 12) in Reihe angeordnet sind und sich Werkstücke aus einem zyklischen Werkstückfluß bei der Maschine M (6) ohne Füllstandsüberwachung anmelden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine Bearbeitungsvariante  $V_i$  von wenigstens zwei Maschinen  $M_i$  (4 bis 12) ausgeübt wird, wobei die Auswahl der Maschine  $M_i$  (4 bis 12) zwischen den Werkstückagenten und den Maschinenagenten verhandelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß Transportmitteln zum Transportieren der Werkstücke zwischen den Maschinen  $M_i$  (4 bis 12) Transportagenten zugeordnet sind, wobei der individuelle Weg zwischen den Maschinen  $M_i$  (4 bis 12) zwischen den Werkstückagenten und den Transportagenten verhandelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Transportmittel die Werkstücke zwischen den Maschinen  $M_i$  (4 bis 12) puffern.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

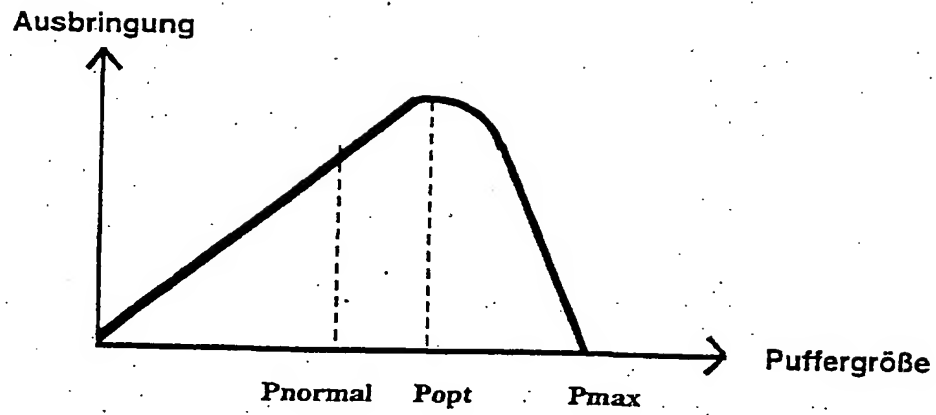


FIG 1

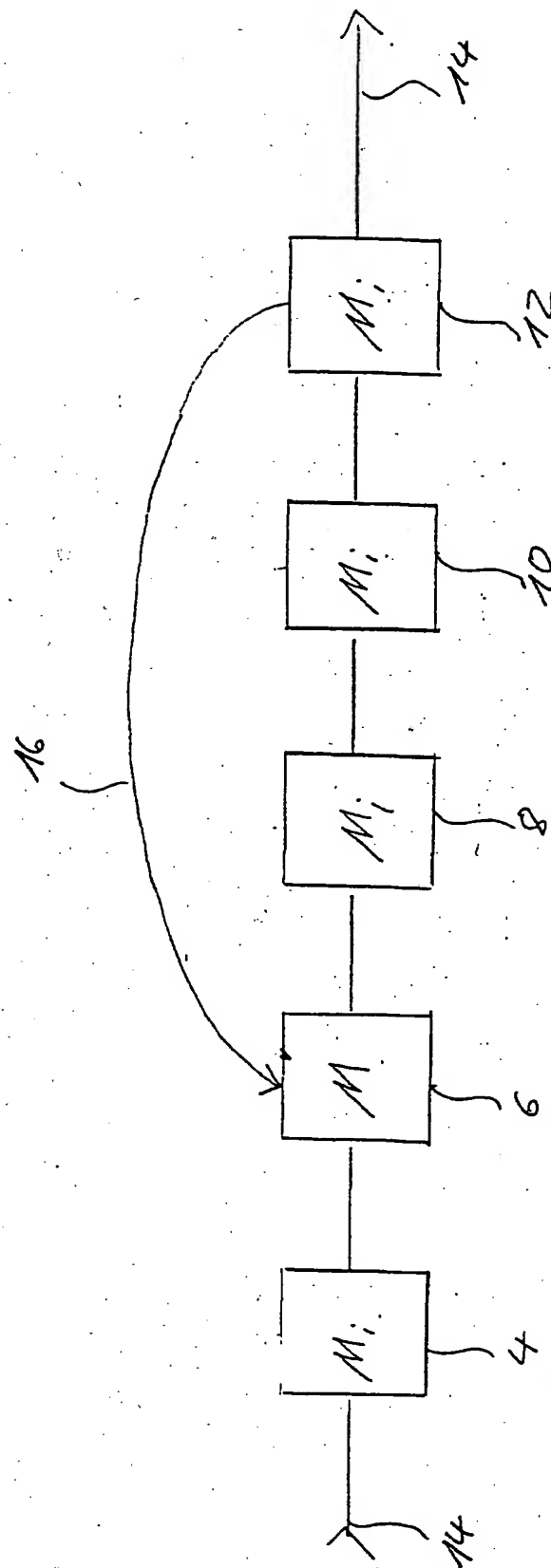


FIG 2